ISSN 0701-5259

NOTE D'INFORMATION DE RECHERCHE SUR LE BÂTIMENT

ISOLATION POUR PRÉVENIR LE GEL DU SOL

par

D.G. Stephenson

Division des recherches sur le bâtiment
Conseil national de recherches Canada

Ottawa, décembre 1977

Conseil national National Research

NO 119 F

ISOLATION POUR PRÉVENIR LE GEL DU SOL

par

D.G. Stephenson

Il est possible d'empêcher le gel du sol, pendant tout un hiver, si on le recouvre, à la fin de l'été, d'une épaisse couche de paille (ou d'un autre isolant). Cette note donne une méthode servant à déterminer la quantité d'isolant à utiliser. Lors du calcul, on suppose que la surface couverte de paille est suffisament grande pour ne pas avoir à tenir compte des effets dans les extrémités. Ceci signifie que la surface calorifugée doit excéder d'environ dix pieds le pourtour du périmètre à protéger.

Les autres suppositions sont que:

1) quand la paille est appliquée, la température du sol est T_o à toutes les profondeurs et la température de l'air est également T_o à ce moment.

2) le sol homogène a une conductivité thermique K_{sol} et une diffusivité α_{sol}.

3) la couche de paille a une conductivité connue, K_{paille}, et une capacité de stockage calorifique négligeable.

4) la paille reste sèche de manière à éviter un dégagement de chaleur latente au moment où l'isotherme de 32°F pénètre dans la paille.

La variation, avec le temps, de la température de l'air peut être représentée comme la somme d'une série de fonctions inclinées qui ont des pentes différentes, des temps de départ différents et une même donnée de température. Par exemple, une fonction inclinée qui a une pente de -20°F/mois, et une autre fonction, commençant 3 mois plus tard, avec une pente de +20°F/mois, équivaut à une courbe de température décroissante linéairement pour 3 mois et qui reste constante par la suite. Puisque l'équation de conduction de chaleur est linéaire, la variation de la température à la surface du sol équivaut à la somme des effets causés par chaque composante de la température de l'air agissant individuellement.

La température, T_S, à la surface d'un solide infini ayant une conductance calorifique en surface finie de h est donnée par:

$$T_s = T_o + \frac{C}{\gamma^2} \{ F(\gamma^2 t) \}$$

où $T_A = T_o + Ct$, où T_A représente la température de l'air.

La température à toutes les profondeurs dans le sol = T_o à t = o

$$\gamma = \frac{h\sqrt{\alpha_{sol}}}{K_{sol}}$$

$$F(\gamma^2 t) = 1 - e^{\gamma^2 t} \text{ erfc } \gamma \sqrt{t} + \gamma^2 t - \frac{2\gamma\sqrt{t}}{\sqrt{\pi}}$$

Pour les valeurs de $\gamma^2 t$ moindre que 0.2 la fonction $F(\gamma^2 t)$ est très bien représentée par l'expression plus simple:

$$F(\gamma^2 t) \doteqdot 0.53\ (\gamma^2 t)^{1.43}$$

Exemple

$T_o = 40^oF$

T_A descend à 20^o/mois pour 3 mois, reste constante à -20^oF pour 1 mois, et remonte par la suite à 20^o/mois.

Pour trouver l'épaisseur de paille nécessaire pour empêcher la température du sol en surface de descendre sous 32^oF:

$K_{sol} = 8$ Btu/h pi^2 (^oF/po)

$K_{paille} = 0.5$ Btu/h pi^2 ($^{\circ}$F/po)

$\alpha_{sol} = 0.025$ pi^2/h

(a) Pour une couche de paille de 2 pi:

$h = \dfrac{K_{paille}}{\ell_{paille}}$, où ℓ représente l'épaisseur de paille

$$\gamma^2 = \left[\frac{K_{paille}}{K_{sol}}\right]^2 \quad \frac{\alpha_{sol}}{(\ell_{paille})^2}$$

$$= \left[\frac{0.5}{8.0}\right]^2 \times \frac{0.025}{(2.0)^2} = 24.4 \times 10^{-6}\ h^{-1}$$

$$= 0.0176 \text{ mois}^{-1}$$

Temps Mois ⟶	0	1	2	3	4	5	6	7
T_o = Constante	40	40	40	40	40	40	40	40
Fonction 1	0	-20	-40	-60	-80	-100	-120	-140
Fonction 2	0	0	0	0	20	40	60	80
Fonction 3	0	0	0	0	0	20	40	60
Total = T_A	40	20	0	-20	-20	0	20	40

La constante ajoutée aux trois fonctions inclinées produisent la variation de temps nécessaire de la température ambiante T_A. La température en surface résultante équivaut à la somme des valeurs qui se produiraient si chaque composante de la température ambiante agissait individuellement.

La température en surface résultant d'une fonction qui aurait une pente de 20°/mois est donnée au tableau suivant.

Pour $\gamma^2 = 0.0176$ mois^{-1}

t mois	$\gamma^2 t$	$F(\gamma^2 t)$	$\frac{20}{\gamma^2}\left[F(\gamma^2 t)\right]$
0	.0000	.0000	0.00
1	.0176	.00164	1.86
2	.0352	.0044	5.00
3	.0527	.0078	8.87
4	.0703	.0118	13.42
5	.0879	.0163	18.54
6	.1055	.0197	22.41
7	.1230	.0261	29.69

Température du sol en surface

Temps → Mois	0	1	2	3	4	5	6
T_o = Constante	40	40	40	40	40	40	40
Fonction 1	0	-1.86	-5.00	-8.87	-13.42	-18.54	-22.41
Fonction 2	0	0	0	0	+ 1.86	+ 5.00	+ 8.87
Fonction 3	0	0	0	0	0	+ 1.86	+ 5.00
Total = T_s	40°	38.14°	35.00°	31.13°	28.44°	28.32°	31.46°

(b) Pour 3 pi de paille $\gamma^2 = 0.0078 \text{ mois}^{-1}$

t mois	$\gamma^2 t$	$F(\gamma^2 t)$	$\frac{20}{\gamma^2} F(\gamma^2 t)$
0	0.0000	0.0000	0.00
1	0.0078	0.00050	1.28
2	0.0156	0.00137	3.51
3	0.0234	0.00245	6.28
4	0.0313	0.0037	9.49
5	0.0391	0.0051	13.08
6	0.0469	0.0066	16.92
7	0.0547	0.0083	21.28

Température du sol en surface

Temps → Mois	0	1	2	3	4	5	6
T_o = Constante	40	40	40	40	40	40	40
Fonction 1	0.00	-1.28	-3.51	-6.28	-9.49	-13.08	-16.92
Fonction 2	0	0	0	0	+1.28	+ 3.51	+ 6.28
Fonction 3	0	0	0	0	0	+ 1.28	+ 3.51
Total = T_s	40^o	38.72^o	36.49^o	33.72^o	31.79^o	31.71^o	32.87^o

Ces résultats indiquent qu'il suffirait d'un peu plus de 3 pi de paille pour empêcher le gel de la surface du sol, si la température mensuelle moyenne minimum est $-20^{o}F$ et que le sol est à $+40^{o}F$ au moment de l'étendre. L'épaisseur d'isolant nécessaire dépend des propriétés thermiques du sol de même que de la conductivité de l'isolant. La conclusion la plus générale qu'on peut tirer de l'exemple, est que le paramètre γ^2 ne devrait pas dépasser 0.0078 $mois^{-1}$, (c'est à dire, $1.1 \times 10^{-5}\ h^{-1}$).

Ainsi $$\ell^2_{isolant} > \left[\frac{K_{isolant}}{K_{sol}}\right]^2 \frac{\alpha_{sol}}{1.1} \times 10^5$$

On peut généraliser encore un peu plus. On devrait calorifuger lorsque la teneur thermique d'un sol est à son maximum annuel. Ceci survient habituellement vers la fin du mois d'août. Si on applique l'isolant à ce moment, le T_o sera habituellement plus grand que le $40^{o}F$ hypothétique de l'exemple. En fait, il suffirait d'appliquer 2 pi de paille sur la surface, à la fin du mois d'août, pour que le sol ne gèle pas dans les régions du Canada où la température mensuelle moyenne minimum est d'environ $-20^{o}F$.